

УДК 576 895.42

**О ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ  
ПРИРОДНЫХ ОЧАГОВ КЛЕЩЕВОГО ЭНЦЕФАЛИТА  
И ПРОГНОЗЕ ИХ ЭПИДЕМИЧЕСКОГО ПРОЯВЛЕНИЯ:  
АНАЛИЗ ОДНОМЕРНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ**

© Е. И. Болотин

С помощью авторегрессионных моделей осуществлено временное экстраполяционное прогнозирование заболеваемости клещевым энцефалитом населения Приморского края и отдельных его очаговых районов. Полученные результаты позволяют говорить о перспективности применяемых методик и моделей.

При изучении организации различных антропоэкосистем (Райх, 1984, и др.), к которым относятся и природные очаги инфекций (Болотин, 1999, 2000), большое значение имеет исследование функционирования этих биосоциальных систем как за прошедшее время, так и прогноз их проявления в будущем. Наиболее демонстративным и информативным показателем функционирования природных очагов инфекций является, на наш взгляд, специфика флуктуаций заболеваемости людей. Этот динамичный эпидемический показатель, как и некоторые другие (летальность, коллективный иммунитет и др.), видимо, является функцией и определенным итогом влияния совокупности элементов абиотической, биотической и социальной природы, составляющих структурный каркас тех или иных природных очагов инфекций. По мнению Ягодинского (1977), эпидемические временные ряды представляют собой интегральное выражение воздействия комплекса факторов, в связи с чем в них содержится определенная прогностическая информация, которая может быть использована для экстраполяции того или иного явления в будущие временные отрезки.

Говоря о функционировании природных очагов инфекций и прогнозе их эпидемической активности, необходимо отметить, что данное направление исследований имеет два аспекта — пространственный и временной. И хотя такое разделение достаточно условно, тем не менее в определенных случаях такая дифференциация имеет прямой смысл и необходимость.

Как пространственный, так и временной аспекты прогнозных исследований на примере ряда природно-очаговых инфекций достаточно подробно анализировались в научной литературе (Верета, 1975; Ягодинский, 1977; Коренберг, Юркова, 1983; Наумов, 1983; Наумов, Гутца, 1987; Окулова, 1986; Ротшильд, Куролап, 1992). В обстоятельной работе последних авторов справедливо подчеркнуто, что в настоящее время еще не создано прочной теоретической основы для объяснения того или иного характера размещения и функционирования природных очагов инфекций, которая могла бы способствовать прогрессу в прогнозных исследованиях. В то же время в практическом плане указанными авторами продемонстрированы возможности пространственно-временного прогнозирования ряда природно-очаговых инфекций на основании анализа их связей с природными и социальными факторами.

Нами ранее также демонстрировались возможности пространственного эпидемического прогноза на примере клещевого энцефалита (КЭ) и был предложен алгоритм

его реализации (Болотин и др., 1988; Болотин, 1991). Напомним, что реализация территориального прогнозирования эпидемической ситуации по КЭ в Приморском крае базировалась на приемах математико-картографического моделирования с использованием информационного анализа. Результатом пространственного прогнозирования являлись ЭВМ-карты, отражающие эпидемическую ситуацию в той или иной точке территории, число возможных ситуаций, а также инвариантность системы «заболеваемости—среда» при изменении параметров воздействующих факторов.

Целью данной работы явилось осуществление временного прогнозирования заболеваемости КЭ в различных, ранее выделенных нами очаговых районах Приморского края (Болотин, 2000) и в целом по региону. Естественно, мы отдаем себе отчет в том, что используемые временные ряды заболеваемости КЭ достаточно ограничены и, видимо, по объективным причинам не всегда точно отражают истинную эпидемическую ситуацию, особенно в наиболее отдаленные годы. Поэтому в данной работе наиболее приоритетным мы считаем именно методический аспект исследований, ставя на первое место выработку методик, а на второе — получение содержательных прогнозных выводов и оценок.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для анализа послужили статистические данные по многолетней динамике заболеваемости КЭ в Приморском крае за различные временные периоды. В целом по региону использовались данные за период 1940—1999 гг., а по отдельным очаговым районам — с 1973 по 1999 г. Отметим, что данные по общекраевой заболеваемости за 1940—1960 гг. взяты из публикаций Слонова с соавт. (1964) и Ягодинского, Александрова (1973). Число заболевших КЭ в очаговых районах в абсолютных и относительных показателях представлено в таблице. Пользуясь случаем, выражаю искреннюю признательность сотрудникам Приморского ГСЭН Л. Е. Горковенко и О. Н. Борисовой за предоставление статистического материала по заболеваемости КЭ в Приморье.

Прогнозирование (прогнозное моделирование) заболеваемости КЭ осуществлялось на персональном компьютере на основании модели авторегрессии — проинтегрированного скользящего среднего Бокса—Дженкинса (ARIMA—АРПСС), одной из наиболее популярных моделей для обработки временных рядов данных и построения

Число больных КЭ за период 1973—1999 гг. в 9 очаговых районах  
Приморского края в абсолютных и относительных показателях  
Number of patients infected with tick-borne encephalitis during the period  
of 1973—1999 in 9 regions of the Primorye territory in absolute and relative indices

Очаговый район	Абсолютное число больных	В среднем на 100 тыс. населения
Хасанско-Шкотовский	282	1.7
Наеждинско-Уссурийский	415	3.1
Находкинский	112	2.1
Партизанско-Лозовский	131	4.9
Спасско-Лесозаводский	355	6.9
Чугуевский	351	6.5
Кавалеровско-Дальнегорский	182	6.7
Дальнереченско-Лучегорский	71	5.3
Центрально-Красноармейско- Пожарский	176	15.6

прогнозов (Бокс, Дженкинс, 1974; Кендэл, 1981). При этом мы рассматривали анализируемые временные ряды заболеваемости как смесь нескольких компонент, и в частности: тренда или долгосрочного движения заболеваемости, краткосрочных колебаний относительно тренда и несистематического случайного эффекта или остатка. Тренд, видимо, объясняется действием постоянных сил, влияющих приблизительно в одном направлении, а краткосрочные осцилляции происходят по совокупности причин. В обоих же движениях присутствует некое случайное возмущение, обуславливающее появление остатка (Андерсон, 1976; Кендэл, 1981; Ефимова, Рябцев, 1991; Боровиков, Ивченко, 2000, и др.). Говоря о разложении временных рядов на компоненты, необходимо отметить большой вклад Ягодинского (1977) в разработку этого вопроса именно конкретно в приложении к эпидемическим временным рядам.

Из широкого спектра компьютерных программ обработки данных (Тюрин, Макаров, 1995; Дюк, 1997; Боровиков, Боровиков, 1998; Кулаичев, 1999, и др.), в том числе и анализа временных рядов, включая вычисление основных статистик, автокорреляционных функций, периодограмм, декомпозиции рядов, экспертизы моделей и собственно прогноза, в данной работе используется отечественный статистический пакет обработки временных рядов «Мезозавр», достаточно, на наш взгляд, надежный и удобный в работе.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде чем обсудить полученные результаты, отметим, что наиболее существенный и предметный вклад в разработку и осуществление временных прогнозов при КЭ был сделан ранее Наумовым с соавт. (1989, 1990) по различным районам Красноярского края и по 8 крупным регионам бывшего СССР. При этом было подчеркнуто, что отсутствие знаний о степени влияния различных факторов на динамику заболеваемости КЭ исключает возможность факторного анализа (Наумов и др., 1989). Данное замечание остается, в определенной мере, справедливым и в настоящий момент. Такое положение дел связано, на наш взгляд, с чрезвычайной сложностью изучаемых природных очагов КЭ как антропоэкологических (биосоциальных) систем (Болотин, 1999, 2000), функционирование которых детерминируется весьма широким спектром причинных факторов. Наиболее важными, системными из них являются: качественное и количественное состояние возбудителя на очаговой территории, степень контакта людей с возбудителем и, видимо, характер иммунологической структуры населения. Эти воздействующие факторы, а по существу сложнейшие комплексы факторов, и их динамику по ряду причин вряд ли возможно дифференцированно учесть с необходимой детальностью и достоверностью для корректного прогнозирования заболеваемости.

Исходя из сказанного реализацию временного прогнозирования, видимо, можно осуществлять двумя путями. Первый из них — экстраполяционный прогноз (Верета, 1975; Наумов, Гутова, 1987, и др.). Он основан на анализе имеющихся временных рядов заболеваемости за прошедшие годы и их непосредственной экстраполяции, т. е. представляет собой анализ одномерных временных рядов.

Второй подход к временному прогнозированию по существу является факторным и может быть реализован в несколько этапов. При этом, строго говоря, используются не истинные причинные факторы, о которых речь шла выше, а так называемые факторы-индикаторы, для которых предварительно выявляются уровни корреляционных связей с динамикой заболеваемости. Примером анализа корреляционной связи динамики заболеваемости ряда природно-очаговых инфекций с различными факторами являются работы Окуловой (1986) по КЭ, Ротшильда, Куролапа (1992) по бешенству, лептоспирозу, туляремии, Ку-лихорадке, геморрагической лихорадке с почечным синдромом и Неронова, Малхазовой (1999) по зоонозному кожному лейшманиозу. В целом же возможности факторного способа временного прогнозирования, представляющего собой многомерный анализ временных рядов, а также проблемы, связанные с его применением, являются предметом отдельной работы.

Переходя к конкретному анализу временных рядов заболеваемости КЭ и их экстраполяционному прогнозу, подчеркнем еще несколько важных, на наш взгляд, исходных положений.

Во-первых, мы, так же как и другие авторы (Ягодинский, Александров, 1973; Окулова, 1986; Наумов и др., 1990, и др.), полагаем, что в целом многолетние колебания уровня заболеваемости КЭ носят естественный характер, тогда как наиболее серьезные социальные факторы (например, различные виды профилактики, миграции населения и т. д.) имеют корректирующее влияние, не нарушающее естественную тенденцию многолетнего хода заболеваемости.

Во-вторых, поскольку, очевидно, все медико-экологические и биоэкологические процессы носят циклический характер (Чижевский, 1973; Пианка, 1981; Максимов, 1984, 1985, и др.), то выявление специфики колебаний того или иного процесса и основанный на этом прогноз, видимо, зависят от длительности наблюдений: чем длиннее эмпирический временной ряд, тем в принципе объективнее может быть интерпретация его «поведения» и реалистичнее должен быть прогноз.

В-третьих, использование экстраполяционного прогноза непременно предполагает и процедуру проверки его результатов с помощью «реперных точек», т. е. конкретных временных отрезков, для которых известно фактическое состояние анализируемого явления. В данной работе в качестве такого временного отрезка используются 1997—1999 гг.

На рис. 1 представлена серия графиков сглаженных временных рядов заболеваемости КЭ в нескольких очаговых районах Приморского края, а также краткосрочный прогноз заболеваемости (точечные линии), легко сопоставляемый с реальными фактическими данными за прогнозируемый период. Прогнозные линии окружены верхними и нижними доверительными границами.

Прежде всего необходимо отметить весьма содержательный, на наш взгляд, момент, заключающийся в том, что все представленные графики по характеру или тенденции многолетнего движения заболеваемости весьма сходны, но по абсолютным показателям (см. оси ординат) — значительно различаются. Схожесть тенденции движения заболеваемости проявляется в том, что почти повсеместно в 80-е гг. отмечалась очень низкая заболеваемость КЭ, достигающая нулевых отметок в отдельные годы, а в 90-е гг. произошел резкий рост заболеваемости с ее стабилизацией к концу десятилетия. Подобный тип динамики заболеваемости КЭ в общих чертах проявился также в Западной и Восточной Сибири (Злобин, Горин, 1996), что позволяет предполагать существование некоего ведущего фактора (или комплекса факторов), который детерминирует многолетнее движение заболеваемости КЭ на весьма значительных территориях. Но, поскольку сила его воздействия (прямого или опосредованного) на разных территориях не одинакова, это, видимо, приводит к различиям в уровнях заболеваемости при общей схожести характера многолетней динамики.

Анализ результатов реализованного экстраполяционного прогноза (рис. 1) позволяет говорить о его достаточно высокой степени репрезентативности. Так, в семи очаговых районах (№ 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8) уровень прогноза оказался весьма удовлетворительным, в одном (№ 9) — удовлетворительным, и лишь в Находкинском очаговом районе (№ 3) прогноз значительно отличался от реальных эмпирических данных. Последний случай, вероятно, можно объяснить небольшой выборкой фактических данных и их более сложным характером распределения.

Как мы отмечали выше, точность экстраполяционного прогноза, видимо, зависит от длины используемого временного ряда. С целью проверки этой гипотезы мы реализовали прогноз заболеваемости КЭ, основанный на временных отрезках разной длины. В частности, изменялась длина основного временного ряда, отражающего общекраевую заболеваемость с шагом в 10 лет, т. е. анализировались временные отрезки с 1940, 1950, 1960, 1970, 1980 гг. (рис. 2).

Как выяснилось (рис. 3), наиболее точным (близким к 100 %) оказался экстраполяционный прогноз, основанный на временном отрезке за период с 1950 г. (а), менее

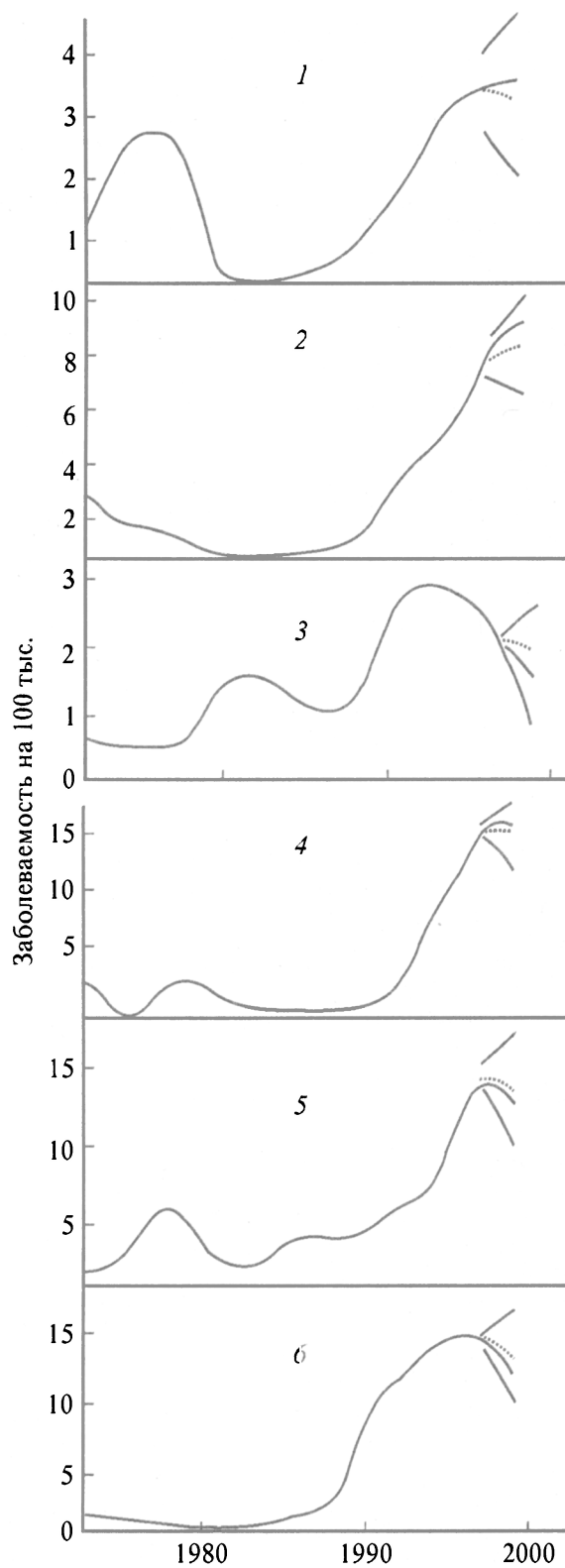


Рис. 1. Графики сглаженных временных рядов заболеваемости КЭ 9 очаговых районов Приморского края.

Цифры соответствуют названиям; линии — экстраполяционный прогноз, окруженный доверительными границами.

Fig. 1. Smoothed temporal row graph of tick-borne encephalitic cases in 9 foci of the Primorye region.

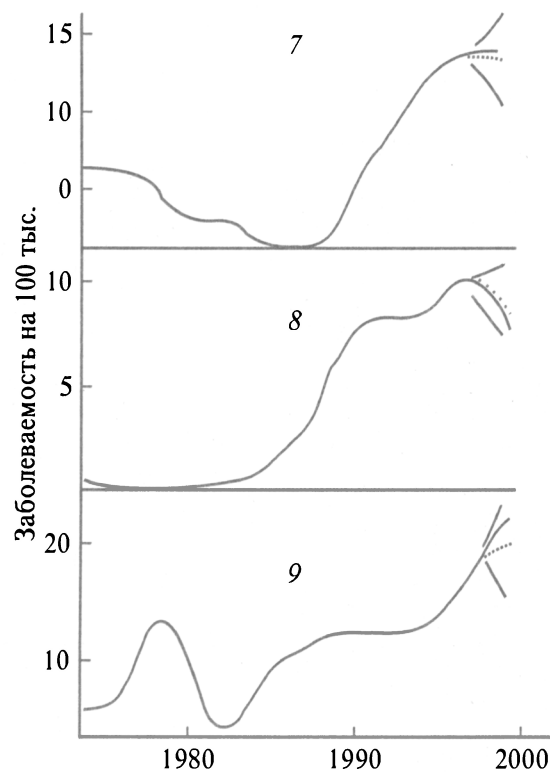


Рис. 1 (продолжение).  
Fig. 1 (the extension).

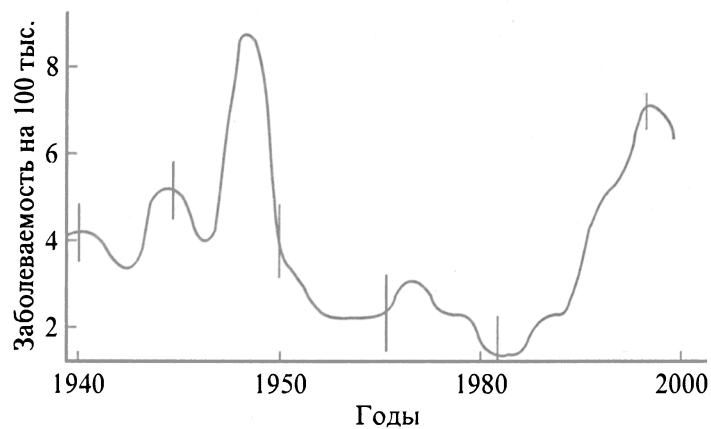


Рис. 2. График сглаженного временного ряда обшечкраевой заболеваемости КЭ, разбитый на 5 отрезков разной длины.  
Fig. 2. Smoothed temporal row graph of summarized tick-borne encephalitis cases, which is split into 5 pieces of different length.

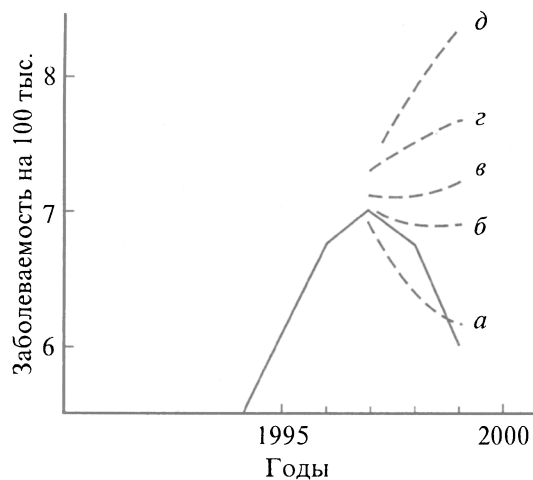


Рис. 3. Экстраполяционный прогноз (пунктирные линии) общекраевой заболеваемости КЭ, основанный на временных отрезках разной длины.

а — за период с 1950 г.; б — с 1940 г.; в — с 1970 г.; г — с 1960 г.; д — с 1980 г.; сплошная линия — график эмпирических данных.

Fig. 3. Extrapolation prognosis (dash lines) of summarized cases of tick-borne encephalitis based on temporal pieces of different length.

временных отрезках с 1960 (г) и 1970 гг. (в), занял промежуточное положение, притом что более короткий временной отрезок дал более точный прогноз (рис. 3).

Таким образом, можно констатировать, что в рамках наших исследований точность реализуемого экстраполяционного прогноза в целом связана с длиной анализируемого временного ряда, т. е., чем длиннее ряд, тем точнее прогноз. При этом весьма важное корректирующее влияние на качество прогноза оказывает и сам тип движения многолетней заболеваемости.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализованное исследование в рамках анализа одномерных временных рядов заболеваемости КЭ как в целом территории Приморского края, так и отдельных его очаговых районов и полученные результаты позволяют говорить о перспективности применяемых методик и моделей для экстраполяционного прогноза заболеваемости. Анализ показал, что даже небольшие временные ряды заболеваемости, но характеризующие относительно однородные в физико-географическом отношении территории, как правило, дают достаточно приемлемый прогноз. В случае прогнозирования временных рядов, отражающих заболеваемость на больших разнородных территориях (уровня области, края и т. д.), и особенно таких контрастных, как Приморский край, длина анализируемых эпидемических временных рядов должна быть существенно увеличена.

#### Список литературы

- Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. М., 1976. 755 с.  
 Бокс Д., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Вып. 1. М., 1974. 406 с.  
 Болотин Е. И., Вертель А. В., Леонова Г. Н. Медико-географическое прогнозирование опасности очагов клещевого энцефалита в Приморском крае // Бюл. Сиб. отд. АМН СССР. 1988. № 5, 6. С. 45—49.  
 Болотин Е. И. Особенности очагов клещевого энцефалита юга Дальнего Востока. Владивосток, 1991. 95 с.  
 Болотин Е. И. Некоторые методологические аспекты изучения природных очагов зоонозов // Паразитология. 1999. Т. 33, вып. 3. С. 192—197.  
 Болотин Е. И. Медико-географическая оценка территории Приморского края относительно клещевого энцефалита с некоторыми замечаниями о структурной организации очагов данной инфекции // Паразитология. 2000. Т. 34, вып. 5. С. 371—379.

- Боровиков В. П., Боровиков И. П. STATISTICA. Статистический анализ и обработка данных в среде Windows. М., 1998. 600 с.
- Боровиков В. П., Ивченко Г. И. Прогнозирование в системе STATISTICA в среде Windows. М., 2000. 382 с.
- Верета Л. А. Принципы прогнозирования заболеваемости клещевым энцефалитом. М., 1975. 135 с.
- Дюк В. Обработка данных на ПК в примерах. СПб., 1997. 231 с.
- Ефимова М. Р., Рябцев В. М. Общая теория статистики. М., 1991. 303 с.
- Злобин В. И., Горин О. З. Клещевой энцефалит. Новосибирск, 1996. 177 с.
- Кэндэл М. Временные ряды. М., 1981. 200 с.
- Коренберг Э. И., Юркова Е. В. Проблема прогнозирования эпидемического проявления природных очагов болезней человека // Мед. паразитол. 1983. Т. 62, № 3. С. 3—10.
- Кулаичев А. П. Методы и средства анализа данных в среде Windows STADIA. М., 1999. Т. 1. 340 с.
- Максимов А. А. Многолетние колебания численности животных, их причины и прогноз. Новосибирск, 1984. 350 с.
- Максимов А. А. Природные циклы. Причины повторяемости экологических процессов. Л., 1989. 236 с.
- Наумов Р. Л. О прогнозах при клещевом энцефалите // Паразитология. 1983. Т. 17, вып. 5. С. 337—346.
- Наумов Р. Л., Гугова В. П. Долгосрочный прогноз состояния очагов и заболеваемости клещевым энцефалитом // Паразитология. 1987. Т. 21, вып. 5, С. 605—611.
- Наумов Р. Л., Жигальский О. А., Гугова В. П. и др. Цикличность и прогноз заболеваемости клещевым энцефалитом в Красноярском крае, экспертная и математическая оценка // Мед. паразитол. 1989. № 3. С. 3—6.
- Наумов Р. Л., Гугова В. П., Фонарева К. С. Степень совпадения долгосрочного экстраполяционного прогноза с реальной заболеваемостью клещевым энцефалитом в СССР // Мед. паразитол. 1990. № 5. С. 40—43.
- Неронов В. В., Малхазова С. М. Анализ связей заболеваемости зоонозным кожным лейшманиозом в Мургабском оазисе с гидрометеорологическими факторами // Мед. паразитол. 1999. № 3. С. 22—26.
- Окулова Н. М. Биологические связи в лесных экосистемах (на примере природных очагов клещевого энцефалита). М., 1986. 248 с.
- Пианка Э. Эволюционная экология. М., 1981. 400 с.
- Рейх Е. Л. Моделирование в медицинской географии. М., 1984. 158 с.
- Ротшильд Е. В., Куролап С. А. Прогнозирование активности очагов зоонозов. М., 1992. 184 с.
- Слонов М. Н., Акимов В. В., Дорохова В. С. К эпидемиологической характеристике клещевого энцефалита в Приморском крае // Мед. паразитол. 1964. № 2. С. 169—177.
- Тюрин Ю. Н., Макаров А. А. Анализ данных на компьютере. М., 1995. 384 с.
- Чижевский А. Л. Земное эхо солнечных бурь. М., 1973. 349 с.
- Ягодинский В. Н., Александров Ю. В. Цикличность клещевого энцефалита и гелиоэпидемиология // Вопросы географии Дальнего Востока. 1973. № 11. С. 302—334.
- Ягодинский В. Н. Динамика эпидемического процесса. М., 1977. 240 с.

Тихоокеанский институт географии  
ДВО РАН, Владивосток

Поступила 16 I 2001

# ON A FUNCTIONAL ORGANIZATION OF NATURAL TICK-BORNE ENCEPHALITIS FOCI AND PROGNOSIS OF THEIR EPIDEMIC MANIFESTATION: ANALYSIS OF MONODIMENSIONAL TEMPORAL ROWS OF INFECTION

E. I. Bolotin

*Key words:* tick-borne encephalitis, natural focus, prognosis, epidemic, Primorye territory.

## SUMMARY

Temporal extrapolation prognosis of tick-borne encephalitis diseases in the Primorye territory and its certain regions is made by means of autoregression models. The results obtained shows good prospects of used methods and models.